



Enero 2013 No. 7

BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

Sociedad Científica Mexicana de Ecología

IV CONGRESO MEXICANO DE ECOLOGÍA

- Villahermosa, Tabasco del 18 al 22 de marzo de 2013 -



Informes:
cuarto_cme@ujat.mx www.cme.ujat.mx
Tel. (01) 933-3544308
www.scme.com.mx

Conocimiento ecológico para la toma de decisiones

Informes Tel: (01)933-3544308 email: cuarto_cme@ujat.mx - www.scme.com.mx y www.cme.ujat.mx
















Oikos= es una publicación periódica del Instituto de Ecología de la UNAM. Su contenido puede reproducirse, siempre y cuando se cite la fuente y el autor. Dirección: Circuito Exterior S/N, anexo Jardín Botánico, C.U., Del. Coyoacán, C.P. 04510. México, www.web.ecologia.unam.mx. Cualquier comentario, opinión y correspondencia, favor de dirigirla a: Biol. Gabriela Jimenez C., a la dirección electrónica difusion@ecologia.unam.mx o al Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México. Al teléfono 5622-9060 o a los faxes: (52 55) 5616-1976 y 5622-8995. Con atención a: Programa de Difusión del Instituto de Ecología, UNAM.
La opinión expresada en los artículos es responsabilidad del autor.











Editorial

Cerrando la “brecha verde”

Luis E. Eguiarte F., Clementina Equihua Z. y César A. Domínguez Pérez Tejada

Durante muchos años, la ecología científica y el ecologismo han seguido caminos separados. Nosotros mismos hemos escrito artículos y dictado conferencias con títulos como “La ecología de los ecólogos”, donde describimos nuestra investigación científica (analizar las interacciones entre los organismos y el ambiente que determinan los patrones y las causas de la distribución y abundancia de los organismos) y lo contrastamos con las preocupaciones ambientales de los ciudadanos: la contaminación, la deforestación, la pérdida de especies emblemáticas como la mariposa monarca y las ballenas, el agujero de la capa de ozono, el calentamiento global. Sin embargo, cada vez queda más claro que si bien en un principio el Instituto de Ecología debía consolidar su posición como líder de la investigación ecológica básica, ahora que hemos avanzado en alcanzar esa meta, debemos también avanzar en cerrar esta “brecha verde” y desarrollar investigación que resuelva los problemas ambientales de nuestro país. Eso sí, manteniendo siempre los estándares de calidad y objetividad científica en los que se basó la fundación de nuestro Instituto.

Con estas ideas en mente, el Instituto ha avanzado en la construcción y desarrollo del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, que será inaugurado a mediados de éste 2013. En dicho laboratorio se utilizará el enfoque descrito arriba: usar la teoría y métodos ecológicos para la solución de los complejos problemas ambientales que nos aquejan. Al mismo tiempo, en el Instituto ya se desarrolla investigación para enfrentar – entre otros problemas-- el complicado problema del Cambio Global. En este número de *Oikos=* presentamos algunos ejemplos de la amplia investigación que se realiza al respecto. Así, el Dr. Julio Campo describe cómo se descubrió el calentamiento global y cómo se relaciona con la investigación que realiza su laboratorio. El Dr. Víctor Barradas describe sus estudios sobre el incremento de temperatura que experimentan las ciudades, efecto conocido como “islas de calor”, así como sus ideas para minimizar este calentamiento local. Los doctores Alejandro Córdoba y Rosa Ana Sánchez Guillen hablan sobre el aumento en la hibridación entre especies de libélulas que resulta del cambio climático. Este fenómeno podría cambiar los caminos evolutivos de muchas de ellas y quizá de muchas otras especies de animales ectotermos.

FOTO DE PORTADA: Ulises Ruiz. Cortesía de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM.



Dos de los investigadores más jóvenes de nuestro Instituto, los doctores Juan Pablo Jaramillo y Ana Escalante describen sus investigaciones recientes. Por un lado, el Dr. Jaramillo y su coautora I. Gamache, utilizan una metáfora basada en la zaga de *El Señor de los Anillos* de Tolkien, en particular a los misteriosos *Ents* -gigantes mitad árboles mitad hombres que participan de manera crítica en la destrucción de *Isengard*- para analizar el efecto del cambio global en los fenómenos de adaptación y migración, así como la importancia de los estudios genómicos en coníferas. Por otra parte la Dra. Escalante y sus coautoras, las biólogas Lakshmi Charlí y María José Solares, describen el papel de la sostenibilidad para enfrentar el cambio global, uno de los temas que con toda seguridad se abordarán en el nuevo Laboratorio Nacional comentado arriba. Por último se incluye en éste primer número del 2013 una reseña de un interesante libro que nos permitirá entender mejor el cambio climático, sus causas y posibles soluciones.

Dr. Luis Eguiarte Fruns. Editor, es investigador del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología y evolución de las plantas, bacterias y animales de México, usando marcadores genéticos.

Dra. Clementina Equihua Zamora. Editora asociada, es ecóloga vegetal y divulgadora de la ciencia del Instituto de Ecología de la UNAM.

Dr. César A. Domínguez Pérez Tejada, director del Instituto, es investigador del Laboratorio de Interacción Planta Animal del Departamento de Ecología Evolutiva. Su trabajo se enfoca en biología evolutiva, en particular en la evolución de la sexualidad de las plantas y las interacciones bióticas.



Conocer nuestro invernadero natural

Julio Campo Alves

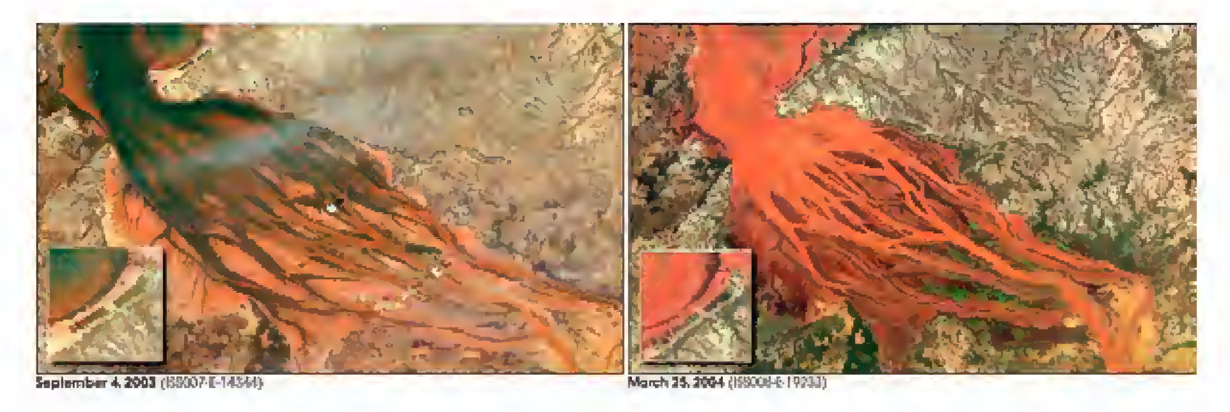
La naturaleza es inspiración para muchos artistas incluyendo numerosos compositores. Un buen ejemplo lo encontramos en los ciclos de música instrumental de las estaciones que puso de moda Vivaldi, la obra musical que cuenta con más grabaciones en el mundo; también merece ser nombrada Las estaciones de Hayden. En la sinfonía Pastoral de Ludwig van Beethoven, escrita entre 1807 y 1808 -- antes de la revolución industrial --el autor plasma su predilección por la naturaleza. Beethoven decía "Los bosques poseen un encanto capaz de expresarlo todo". Estas obras son un ejemplo de cómo en momentos definidos de la música y de otras expresiones artísticas, como son el Barroco, el Clasicismo y el Romanticismo, los grandes creadores desearon plasmar el sentimiento de amor humano por la naturaleza.

Hoy, sin duda, este sentimiento continúa no sólo en las artes, pero nuestras acciones cotidianas frente al ambiente nos contradicen. Por ejemplo, Madagascar, la cuarta isla más grande del planeta y una de las zonas más importantes del mundo por su biodiversidad –aunque ha desaparecido el 80% de sus bosques – tiene al 70% de sus 20 millones de habitantes sumidos en la pobreza y a buena parte de su territorio afectado por ciclones y sequías de efectos devastadores. La población, cada vez con menos recursos y cada vez peor nutrida, sufre impotente las consecuencias del calentamiento global. La relación entre cambio climático y hambre no puede ser más clara. El ciclo de sequía era antes cada 10 años, luego, cada dos o tres y ahora no deja tiempo a que las comunidades se recuperen. En Anjamahavelo (que quiere decir Baobab afortunado), una comunidad de 1,500 vecinos, ya nadie cultiva (Recuadro 1).

Recuadro 1

El cuarto informe del Grupo de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), publicado en 2007, señala las tendencias en el comportamiento del clima mundial:

- En la mayor parte de la superficie terrestre los días más cálidos serían más frecuentes y habrá menos días fríos;
- Los días y noches calurosas serían más frecuentes;
- Las olas de calor (periodos breves con temperaturas extremadamente altas) serían más frecuentes;
- La frecuencia de eventos de lluvias intensas (o la proporción de lluvias intensas respecto al total de la lluvia anual) se incrementará;
- Globalmente han aumentado las áreas afectadas por la sequía;
- Se incrementará la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales.



La deforestación en Madagascar ocasiona que ríos, como el Betsiboka, arrastren el suelo hacia su desembocadura en el mar. La imagen muestra el aumento de sedimentos en el agua del río de 2003 a 2004. Imagenes: NASA





Los gases de efecto invernadero retienen el calor en la superficie de la Tierra. Este efecto ha sido clave para la vida en la tierra. Imagen: www.ecy.wa.gov/climatechange/whatis.htm

La temperatura de la Tierra

¿Cómo se relacionan estos cambios en el clima con nuestras actividades? Para responder a esta pregunta primero es necesario hablar sobre cómo es que la Tierra se mantiene caliente. La radiación del Sol calienta la superficie de nuestro planeta, parte de esa energía es reflejada y parte trasmitida como energía térmica, ambas hacia la atmósfera, y de la atmósfera puede ser re-irradiada hacia la superficie nuevamente o transmitida al espacio. El promedio entre la energía que llega a la superficie de la Tierra y la que sale (como radiación térmica y reflejada), debe estar balanceado. Esto es, si el balance es perturbado (por ejemplo, por un cambio en la composición química de la atmósfera) puede ser restablecido por un cambio en la temperatura de la superficie de la Tierra.

En promedio, por metro cuadrado, la superficie de la atmósfera recibe 342 watts. Seis por ciento de esta energía es reflejada al espacio por diversas moléculas y partículas presentes en la atmósfera. Alrededor de 10% de la energía que llega a la superficie terrestre es reflejada al espacio por la superficie continental y la del océano. El restante 84%, es decir 288 watts por metro cuadrado, calienta la superficie terrestre. Si la energía recibida en la superficie estuviera balanceada con la que es re-irradiada de forma térmica, la temperatura promedio en la superficie del planeta sería mucho más fría (6ºC bajo cero) que la actual (aproximadamente 15°C). ¿A qué se debe esta diferencia? La atmósfera está compuesta en un 78% por Nitrógeno, 21% Oxígeno y 0.93% Argón, que son gases que no emiten ni absorben radiación térmica. Sin embargo, componentes menos abundantes como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los clorofluorocarbonos (CFCs), absorben la radiación que llega desde la superficie terrestre y la reflejan nuevamente hacia la superficie, esto ocasiona una diferencia de aproximadamente 20ºC.

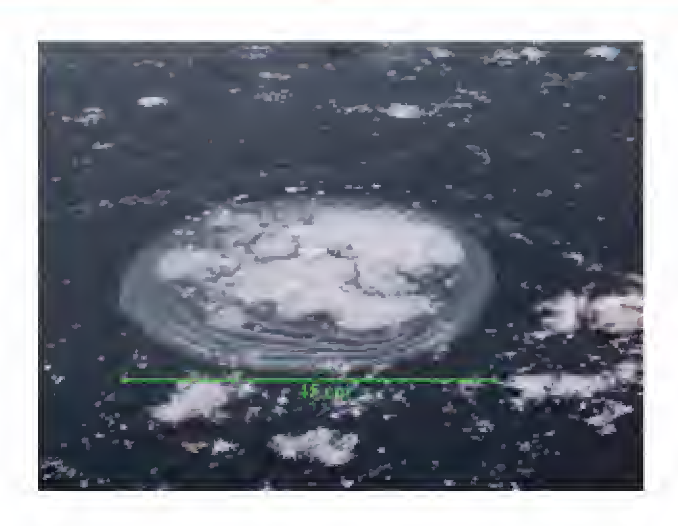
Este efecto cobertor de la atmósfera es conocido con el nombre de efecto invernadero natural, y los gases que lo producen son denominados gases con efecto invernadero. Este efecto cobertor es considerado natural, ya que con la excepción de los CFCs, estos gases estuvieron presentes mucho antes de que el ser humano pisara la Tierra. Generalmente son producidos por procesos biogénicos, es decir por las funciones naturales de los organismos vivientes desde las bacterias hasta nosotros.

Inicio del estudio de los gases con efecto invernadero y del calentamiento global

La captura y liberación de dióxido de carbono por parte de las plantas fue descrita por Antoine-Laurent de Lavoisier durante la segunda mitad del siglo XVIII, cuando registró cambios en la composición del aire encerrado en campanas donde crecían plantas. Por esos tiempos, más concretamente en el año 1776, el físico italiano Alessandro Volta notificaba que había observado que se liberaban burbujas desde los fondos de pantanos. Recolectó estas burbujas, y al analizar el aire contenido en ellas determinó que era inflamable. Volta había descubierto el metano, gas que se produce como consecuencia de la degradación o putrefacción de la materia orgánica en ausencia de oxígeno libre o anaerobiosis. El óxido nitroso es otro gas con efecto invernadero y es comúnmente utilizado como anestésico en la medicina, su olor es ligeramente dulzón y fue descrito por Joseph Priestley en 1772. Este gas es producido por la actividad de un grupo de bacterias denominadas desnitrificantes porque convierten los óxidos de nitrógeno (nitrato o nitrito) a gases de nitrógeno reducido con el fin de obtener energía para vivir.

Aunque en años recientes se habla sobre el calentamiento del planeta en los medios, los estudios de este fenómeno inician históricamente con el científico francés Jean-Baptiste Fourier, quien también es muy conocido por sus contribuciones a la matemáticas.





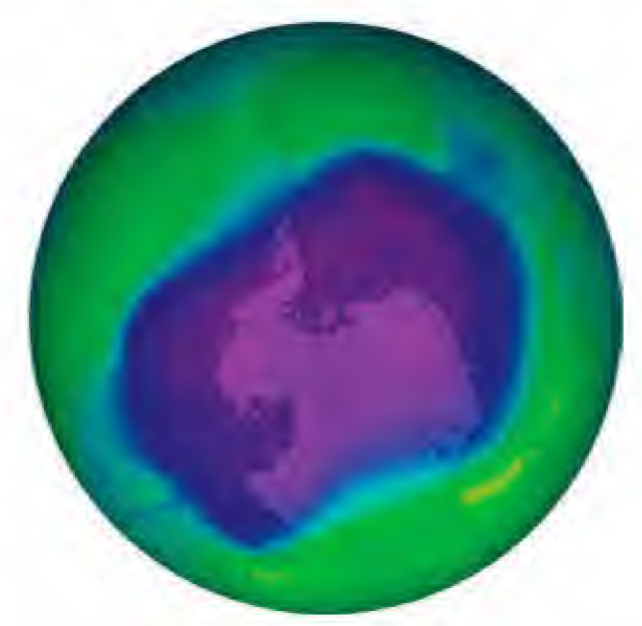
Burbujas de metano bajo la superficie del hielo en un lago de la Península de Alaska. Imagen M. Engram.

En 1827 Fourier relacionó el efecto del calentamiento en la temperatura promedio de la superficie terrestre con la presencia de gases con efecto invernadero. Luego, alrededor de 1860, el científico británico John Tyndall midió la absorción de la radiación infrarroja por el vapor de agua y por el dióxido de carbono y sugirió que la causante de las Eras de Hielo en el planeta podría ser una disminución en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

Pero, quien ha recibido los mayores reconocimientos en esta área de investigación fue el químico sueco Svante August Arrhenius, quien para finales del siglo XIX calculó el efecto que tendría un aumento en la concentración de gases con efecto invernadero. En un artículo publicado en 1896 en la revista británica Philosophical Magazine, estimó que si la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se duplicaba como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, la temperatura promedio en la superficie terrestre aumentaría entre 5 y 6ºC, valor que se aproxima a las estimaciones actuales. En 1903 recibió el Premio Nobel de Química por sus estudios en este tema.

En el año 1958, el científico norteamericano Charles Keeling y sus colegas empezaron a medir la concentración del dióxido de carbono en el aire en el volcán Mauna Loa, Hawai, en el océano Pacífico. El conjunto de los datos con respecto al cambio en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, deja claro que éste aumentó de 315.97 partes por millón en el año 1959 a 393.81 partes por millón en el 2012. El metano y el óxido nitroso tienen en común con el dióxido de carbono el hecho el de que sus concentraciones en la atmósfera han venido aumentando en los últimos 200 años.

Durante 1974 Mario Molina y Sherwood Rowland publicaron un estudio en la revista Nature por el que se les otorgó el premio Nobel en 1995, junto con Paul Crutzen. Con dicho trabajo demostraron el daño ocasionado por las moléculas de cloro que eran liberadas de los CFC en la atmósfera. El trabajo de los tres investigadores fue clave para entender la conexión entre el clima y las actividades humanas. A partir de su trabajo y del premio Nobel,



El deterioro de la capa de ozono fue la primer señal del efecto de las actividades humanas sobre la atmósfera. Imagen: wikipedia.org

la investigación sobre el cambio global es una de las más importantes en todo el mundo.

Conocer el comportamiento climático de nuestro planeta ha llevado ya más de dos siglos y las consecuencias de nuestra contribución al cambio general de la temperatura del planeta puso en alerta a la comunidad científica. Desde 1990 el Grupo de Expertos respecto al Cambio Climático (asociados en el Panel Intergubernamental sobre cambio climático o IPCC por sus siglas en inglés) compila los registros de las evidencias físicas del cambio climático, los impactos registrados en los ecosistemas terrestres, marinos y epicontinentales, así como realiza propuestas para la mitigación. Hoy, la investigación que se lleva a cabo en este campo del conocimiento se hace desde diferentes puntos de vista, incluyendo el económico, social, físico, químico y biológico, entre otros. Entender el proceso y cómo podría afectar a las sociedades humanas, a la biodiversidad, y a

la administración de los recursos naturales son de los grandes retos del siglo XXI.

En el laboratorio de Biogeoquímica Terrestre y Clima, del Instituto de Ecología, estamos realizando investigación con una perspectiva biogeoquímica con el fin de contribuir a entender y pronosticar las condiciones ambientales futuras del planeta. Mediante el análisis de la interacción de los ciclos de bioelementos en la biomasa, en el metabolismo y en la química del suelo, y su sensibilidad a las actividades humanas, obtenemos un marco para comprender cómo los cambios globales en el clima tienen efectos locales y regionales, con consecuencias profundas para la salud del planeta. Hasta hace unas décadas, nuestra relación con la naturaleza parecía ser armónica, como lo recordaban los grandes artistas con sus obras. Pero hoy parece que nos convertimos en el punto altisonante del concierto natural.

Nuestro trabajo

- Efectos de un ingreso elevado de nitrógeno en los ciclos del carbono y del nitrógeno y sus pérdidas en suelos de bosques tropicales estacionalmente secos.
- Efectos de la deposición de nitrógeno en el potencial de captura de carbono de bosques tropicales estacionalmente secos.

Para saber más

- Roa-Fuentes L.L., Martínez-Garza C., Etchevers J., Campo J. Recovery of soil C and N in a tropical pasture: Passive and active restoration. *Land Degradation & Development* (en prensa).
- Roa-Fuentes L.L., Campo J., Parra V. 2012. Plant biomass allocation across a precipitation gradient: an approach to seasonally dry tropical forest at Yucatán, Mexico. *Ecosystems*, 15: 1234-1244.
- Campo J., Gallardo J.F. 2012. Comparison of P and cation cycling in two seasonally dry forest ecosystems. *Annals of Forest Science*, 69: 887-894.
- Saynes V., Etchevers J., Galicia L., Hidalgo C., Campo J. 2012. Soil carbon dynamics in high-elevation tempeate forests of Oaxaca (Mexico): thinning and rainfall effects. *Bosque*, 33: 3-11.

Dr. Julio Campo Alves es investigador titular en el Instituto de Ecología, UNAM. Se especializa en la participación de la vida en la transferencia de los elementos químicos en el planeta. Sus áreas de investigación son la ecología del cambio global y la restauración de ecosistemas terrestres.



Los bosques frente al cambio climático: ¿la marcha de los *ents*?

Juan Pablo Jaramillo-Correa e Isabelle Gamache

"... and the trees stood black and silent immobile in the wind..."
(Sebastian Ramstedt. Hrimthursum. 2006)

La migración por cambio climático: un escenario complicado

La secuencia de imágenes parece la de una pesadilla premonitoria y recurrente: el hombre quema grandes cantidades de combustibles fósiles y, así, libera volúmenes enormes de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera; esta se transforma en un invernadero que aumenta gradualmente la temperatura del planeta; los bosques se desplazan hacia altitudes (o latitudes) mayores en busca de hábitats similares a los que ocupan hoy en día, y la marcha de los ents (hombres-árboles) que describió J.R.R. Tolkien en el Señor de los Anillos se hace realidad.

Pero, ¿qué tan real es esta pesadilla? Muchas de las evidencias empíricas recolectadas durante los últimos cien años indican no sólo que el planeta se está calentando, sino que las especies y los ecosistemas están respondiendo a ese calentamiento. Por ejemplo, los individuos de algunas especies arbóreas que han sobrevivido en forma de arbustos en latitudes nórdicas ahora crecen en forma típica de un árbol; las poblaciones de varias coníferas boreales se han expandido hacia el norte, y los insectos cuyas larvas no sobrevivían el invierno se han convertido en plagas importantes gracias a los climas más benignos de los últimos años. De hecho, de conservarse la tendencia actual, muchos de estos fenómenos se acentuarían durante los próximos 50-100 años, lo que cambiaría sustancialmente la ubicación de los bosques modernos.

Sin embargo, la capacidad de migración de los bosques se ve limitada por otras variables ambientales diferentes a la temperatura. Por ejemplo, no es lo mismo migrar hacia el norte a través de una planicie, como en Siberia, que hacerlo hacia arriba de una montaña con una pendiente muy inclinada, como en muchos lugares de México. Si dicha montaña tiene además zonas geologicamente estables y otras inestables, donde los derrumbes y avalanchas son frecuentes, la migración será diferente en ambas partes. Lo mismo puede decirse para otras variables, como el paso recurrente de frentes fríos, la cantidad de radiación solar, los incendios y las presiones antrópicas como la deforestación y el pastoreo.



Figura. 1. Los individuos de algunas especies arbóreas que han sobrevivido en forma de arbustos en latitudes nórdicas ahora crecen en forma típica de un árbol. En el primer plano de la foto se observa un ejemplo de estos "arbustos" que ahora son árboles en el norte de Canadá. Foto I. Gamache.

Diferentes especies, diferentes respuestas

Por otro lado, muchas de las predicciones sobre la migración de los bosques se basan exclusivamente en el aumento de la temperatura, mientras que el cambio climático supone variaciones mucho más complejas que generarían respuestas difíciles de prever en los árboles forestales. Por ejemplo, en algunos lugares se esperan aumentos importantes en las cantidades de precipitación (lluvia y nieve) que favorecerían a los árboles tolerantes a las inundaciones, mientras

que el incremento de la frecuencia de los eventos extremos, como los huracanes, afectaría mucho más a las especies con raíces superficiales y troncos poco flexibles. Estas variaciones climáticas implicarían no sólo una migración de las especies a hábitats más favorables, sino un cambio radical en la composición de los bosques, ya que algunas especies se verían favorecidas y otras no.

Por otro lado, el ya mencionado incremento del CO_2 en la atmósfera tendría efectos desconocidos en muchos ecosistemas, lo que agregaría una gran dosis de incertidumbre a nuestras predicciones, asemejándolas peligrosamente a los horóscopos de las revistas del corazón.

En lo que sí parecen coincidir los expertos es en las cuatro opciones que tienen los árboles ante el cambio climático: 1) la ya mencionada migración hacia hábitats favorables, 2) la tolerancia a los cambios, 3) la adaptación a los mismos (en ambos casos las especies se mantienen en el mismo lugar en donde se encuentran actualmente) o bien, 4) la extinción. En todos los casos el resultado será exclusivo para cada especie y para cada ambiente a lo largo del planeta.

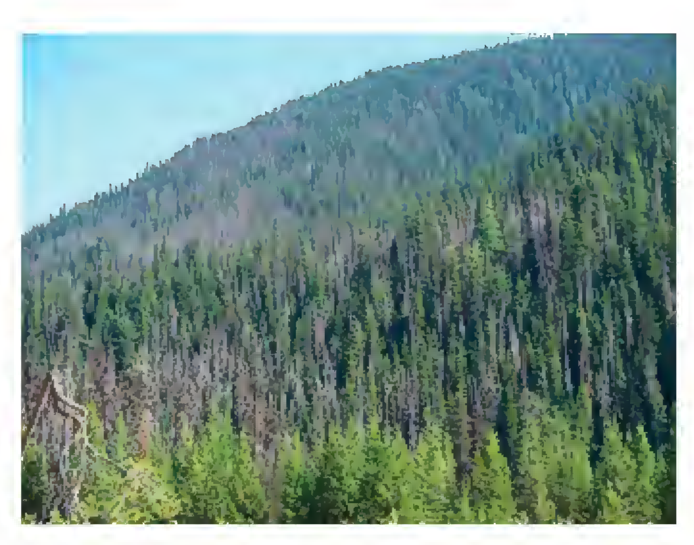


Figura. 2. Insectos cuyas larvas no sobrevivían el invierno boreal se han convertido en plagas importantes gracias a los climas más benignos de los últimos años. En la foto se observan los destrozos producidos por el escarabajo del pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae*) en los bosque de pino del oeste de Norte de América luego de un invierno clemente en 2012. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mountain_pine_beetle_damage_in_Rocky_Mountain_National_Park.jpg



Figura. 3. Los incendios y las presiones antrópicas, como la deforestación y el pastoreo, afectan diferencialmente la respuesta de los árboles al cambio climático. En la foto se observan los restos de un incendio forestal al cual han sobrevivido los individuos jóvenes más resistentes. Foto I. Gamache.

Tolerancia y adaptación

En vista de que muchas especies no son capaces de migrar a velocidades lo suficientemente altas como para siempre estar dentro de sus hábitats más favorables, los científicos se han interesado en entender los procesos de tolerancia y adaptación al cambio climático en las poblaciones actuales de árboles. La tolerancia implica que una especie, sin abandonar su hábitat o condiciones ambientales originales, es capaz de sobrevivir y reproducirse en ambientes muy diferentes a los actuales. Esto lo logra realizando ajustes fisiológicos relativamente sencillos. Es decir, el mismo árbol (literalmente) podría vivir tanto en las condiciones del DF, como en las de Veracruz o las de Coahuila. A este proceso se le conoce como plasticidad fenotípica.Un ejemplo serían algunas especies de Eucalipto, que aunque son originarias de hábitats templados en Australia, toleran muy bien los climas tropicales de Colombia, México o Brasil, hasta incluso convertirse en especies invasoras.

Por otro lado, la adaptación implica cambios en la composición genética de las poblaciones a lo largo del tiempo. Esta es un proceso en el que sólo los individuos que tienen las variantes genéticas adecuadas para responder al ambiente sobreviven y se reproducen; en otras palabras, evolucionan. Por ejemplo, supongamos que tenemos dos árboles que sólo difieren por tener variantes genéticas distintas en un gen que confiere resistencia a las altas temperaturas (en todo lo demás, son iguales): una variante permite sobrevivir a una mayor temperatura

que la otra. En caso de que el lugar en donde habitan estos árboles se vuelva más caliente, sólo aquel que posea la primera variante podrá sobrevivir y reproducirse (ver Figura 4 para un ejemplo real en pinos).

Mucho del interés actual por decodificar el genoma completo de las especies tienen como objetivo encontrar las variantes genéticas que están implicadas en respuestas adaptativas al ambiente y que permitan responder preguntas como estas: ¿cómo cambian las frecuencias de los genes en las poblaciones cuando las temperaturas aumentan, o cuando varían los regímenes de lluvia?¿Cómo responden a nuevas epidemias de hongos o a insectos más abundantes?, o a otros posibles cambios bióticos y abióticos en el ecosistema. El hecho de saber qué genes están implicados en qué respuestas y cuáles árboles tienen estos genes permitiría iniciar programas de reforestación con individuos pre-adaptados a las condiciones futuras.

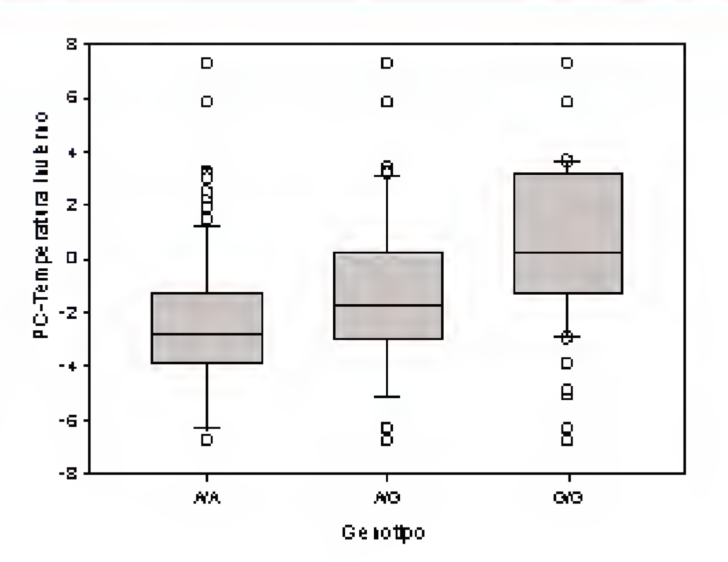


Figura. 4. Variantes genéticas que están implicadas en respuestas adaptativas a ciertas variables ambientales: los árboles con la variante G/G son más tolerantes a las altas temperaturas que aquellos con las variantes A/G o A/A. (Jaramillo-C *et al.* Datos sin publicar).

Conservando hacia el futuro

Sin embargo, los estudios genómicos tienen varias limitantes como su costo y el tiempo que toma analizar los datos, por lo que estas técnicas sólo se pueden utilizar para unas pocas especies. Para las demás, habría que recurrir a estrategias más novedosas (y baratas). Una de las posibilidades que más se ha discutido en los congresos científicos sobre el tema es la de la migración asistida. Esta implica trasplantar árboles (usualmente plántulas) a los lugares en donde los modelos matemáticos predigan que estarían ubicados sus hábitats más favorables dentro de 50-100 años. Si tenemos en cuenta que un árbol vive más o menos ese lapso, habría que empezar a trasplantarlos justo ahora, para que tengan tiempo de adaptarse *in situ* a las nuevas condiciones. En México ya hay unas pocas iniciativas de este tipo, pero todavía es muy temprano para saber si han tenido éxito.

Ahora bien, el problema con la migración asistida es que esta nos lleva de vuelta a las predicciones y casi, a los horóscopos: si no somos capaces de mejorar nuestros modelos predictivos e incluir las variables que más ayuden a entender mejor qué es lo que afecta la supervivencia de los árboles, nunca sabremos donde trasplantarlos; será como tirar a un blanco a ciegas. Por lo tanto, sólo si mejoramos nuestras capacidades predictivas podremos tener éxito en este "pastoreo de árboles" que podría salvar a nuestros bosques. Recordemos que en la mitología de Tolkien el trabajo de los ents es justamente ese: ser pastores de los árboles que velan por el bienestar de los bosques. La marcha de los ents es en realidad nuestra propia marcha.

Para saber más

- Aitken, S., *et al.* 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1: 95-111.

- IPCC. 2007. *Climate change. The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panelon Climate Change (eds S. Solomon, D. Qin & D. Manning), CambridgeUniversity Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

- Kremer, A., *et al.* 2012. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 15: 378-392.

Dr. Juan Pablo Jaramillo-Correa es investigador del Laboratorio de Genética y Ecología del Departamento de Ecología Evolutiva del Instituto de Ecología, UNAM. Estudia las respuestas evolutivas y adaptativas de los árboles forestales utilizando herramientas moleculares

Dra. Isabelle Gamache es ecóloga forestal y del cambio climático de la Université Laval (Canadá). Trabajó como analista científica en biotecnología del Servicio Forestal Canadienses. Actualmente se desempeña en México como editora y traductora de textos especializados.



El sexo en tiempos de cambio climático

Alex Córdoba Aguilar y Rosa Ana Sánchez Guillén

Existe la noción de que la hibridación entre diferentes especies es un fenómeno raro en la naturaleza, al menos entre animales, idea que se ilustra con ejemplos un tanto excepcionales (y de aquí su aspecto inverosímil), como es el caso de la mula. Desde el punto de vista biológico, hay un fundamento teórico para creer que la hibridación es casi imposible: los costos en tiempo y recursos son altos para los individuos de las especies parentales, ya que los híbridos no son viables, esto es no se llegan a reproducir. Por esto diversos autores han explicado que las especies desarrollen mecanismos de aislamiento reproductor efectivos que impidan los apareamientos con especies diferentes.

Sin embargo, varios estudios en las últimas décadas indican que los apareamientos entre especies diferentes no sólo ocurren, sino que, contrario a la creencia común, los híbridos muchas veces sí son viables. Una primera explicación de que estos híbridos sean comunes es que no ha habido tiempo suficiente para que, en especies cercanas, evolucionen mecanismos efectivos de aislamiento. La segunda explicación es que sí existieron tales mecanismos, pero quizá se relajaron por diversas circunstancias, como por ejemplo que especies cercanas viven en lugares diferentes y, por lo tanto, que la probabilidad de apareamientos entre ellas sea muy baja. Sin embargo puede suceder que ante algún cambio ambiental las especies diferentes ahora sí se encuentren y sí se puedan aparear dando lugar a híbridos. Uno puede preguntarse ¿Qué cambio ambiental puede dar lugar a tales re-encuentros? Uno de los cambios a gran escala y ya para todo mundo conocido, es el cambio climático.

El incremento de temperatura en el planeta está afectando a cada organismo de forma diferente. En el caso de los organismos *ectotermos* – aquellos cuyas actividades están fuertemente influenciadas por la temperatura exterior – están sufriendo cambios en cada aspecto de su vida. Pensemos el caso de la gran mayoría de los insectos, sólo pueden volar cuando la temperatura ambiental es lo suficientemente alta en el día, en otras palabras, si hace frío no vuela. Con los incrementos de temperatura global, su actividad comenzará más temprano y terminará más tarde, es decir el tiempo que permanece activo es más largo. Las consecuencias serán muy diversas, algunas predecibles pero otras no. Si se trata de, por ejemplo, una plaga, ésta tendrá más tiempo para comerse un cultivo.

Uno de los efectos del cambio climático global que hemos descrito recientemente y en relación con patrones de hibridación, es la modificación de las áreas de distribución geográfica en varias especies de

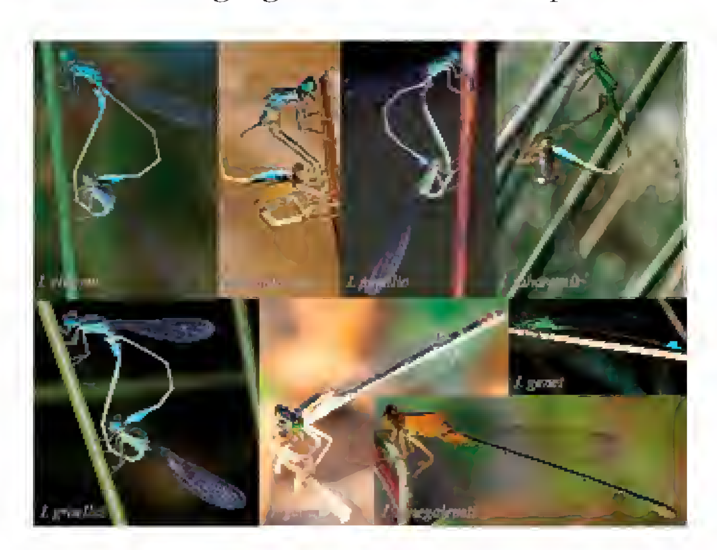


Figura 1. Ejemplos de libélulas del género *Ischnura* usadas para estudio de hibridación y cambio climático: *I. elegans*, *I. genei*, *I. graellsii*, *I. pumilio* (Fotos: Adolfo Cordero Rivera); *I. fountaineae* (Foto: Jean Pierre Boudot); *I. saharensis* (Foto: Rosa Ana Sánchez Guillén); e *I. senegalensis* (Foto: www.geograph.org.uk).

libélulas (Figura 1). Nuestros estudios predicen que el incremento en temperatura llevará a que algunas especies que ahora no están en contacto, lo estén en unos pocos años. Por ejemplo,

hemos encontrado evidencia de que especies africanas y mediterráneas estarán colonizando nuevas áreas hacia el sur de Europa, y ahí se encontrarán con otras con las cuales no tenían contacto (Figura 2). En algunos casos, el grado de sobreposición de las áreas de distribución es

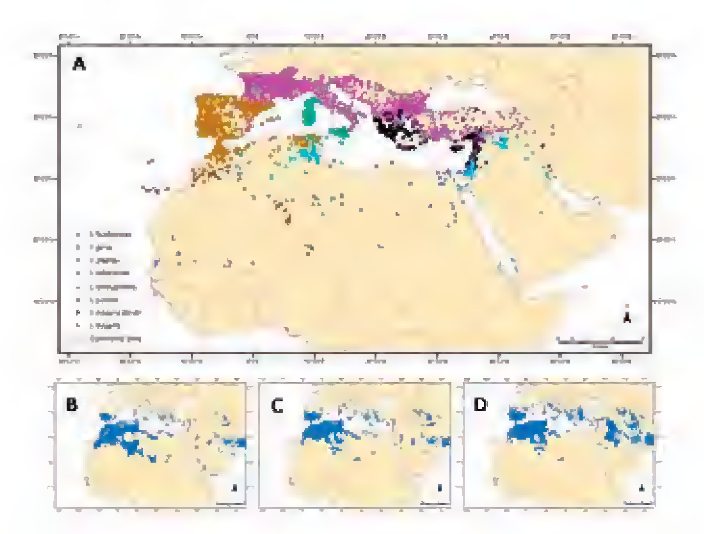


Figura 2. Mapa de puntos de presencia, mostrando la distribución actual de ocho especies de *Ischnura* de distribución Mediterránea (A). Distribución potencial de *I. saharensis* bajo el escenario de cambio climático A1 que representa un mundo globalizado con un intenso crecimiento económico sostenido mediante el uso intensivo de combustibles fósiles para el 2020 (B), 2050 (C) y 2080 (D).

relativamente pequeño, pero para otras especies será enorme. Cada caso parece depender de la capacidad de cada especie de lidiar con cambios en temperatura y por supuesto, con los nuevos ambientes.

¿Existe alguna evidencia que sugiera que estas especies de libélulas podrán hibridar? Parece que sí. Por un lado, hemos encontrado que la cercanía evolutiva -- estimación que se basa en las diferencias genéticas usando distintos marcadores moleculares-- de varias especies, es un indicio de que sus mecanismos de aislamiento no son lo suficientemente robustos como para impedir que se apareen. El umbral de cercanía genética donde un investigador "decide" sugerir si una especie puede o no hibridar con otra viene de datos experimentales en especies que tienen apareamientos inter-específicos y/o producen híbridos. Estos apareamientos entre especies y los híbridos que producen, contrario a lo que planteamos al principio, son bastante más comunes de lo que se cree, especialmente en insectos (Figura 3).

En el Laboratorio de Ecología de la Conducta de Artrópodos del Instituto de Ecología, hemos hecho experimentos con libélulas

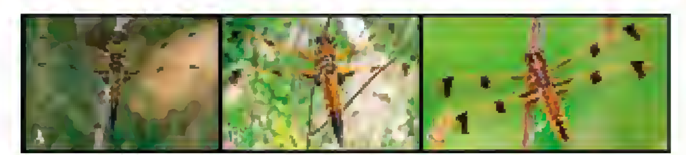


Figura 3. Ejemplo de un híbrido de libélula. En el recuadro A y C se muestran dos adultos de *Libellula quadrimaculata* y *L. semifasciata* respectivamente, mientras que el híbrido está en el recuadro B. Imagen: www.joebartok.blogspot.mx/.

para poner a prueba si nuestras predicciones de apareamientos interespecíficos y/o formación de híbridos se basan en los umbrales de cercanía genética, y las predicciones se cumplen. En otras palabras: las especies cercanas de libélulas (y de otros insectos) efectivamente producirán híbridos, al encontrarse ocupando el mismo sitio como consecuencia del cambio global. Estos experimentos los hemos hecho en el laboratorio en condiciones controladas, simulando situaciones donde especies que antes no vivían juntas, ahora lo hagan.

El lector puede preguntarse ¿qué pasará con los nuevos híbridos? De esta gran pregunta, sabemos muy poco. Estudios previos por una de nosotros (RASG) indican que muchos híbridos actuales de libélulas no tan sólo ocurren en la naturaleza, sino que son perfectamente viables e incluso se aparean con sus especies parentales, desplazando los acervos genéticos de esas especies (Figura 4). Sin embargo, los efectos a micro-escala (por ejemplo, interacciones entre miembros del sexo opuesto, depredadores, enfermedades, entre otros) y macro-escala (por ejemplo, a nivel comunita-



Figura 4. Gráfico de salida de un análisis Bayesiano que ilustra el grado de contribución genética de dos especies parentales de libélulas (*I. graellsii* e *I. elegans*) en los híbridos. Cada individuo está representado por una línea delgada vertical, de color rojo en el caso de *I. graellsii* y verde para *I. elegans*. Ambas especies parentales obtuvieron un valor de asignación a su especies mayor del 90%, es decir la barra de color es casi completa de un único color (con varias excepciones), mientras que los individuos sospechosos de ser híbridos entre ambas especies *I. graellsii* e *I. elegans* fueron asignados de forma intermedia a ambos colores, con una asignación menor del 90% a uno de los dos grupos. Fuente: Sánchez-Guillén *et al.*, 2011.



rio), los desconocemos totalmente, pero son un campo nuevo de investigación.

Algunas de las preguntas que más nos inquietan ahora son: 1) ¿Cuál es el riesgo de extinción de una especies y de las poblaciones que la forman una vez que se da la hibridación? Esta pregunta tiene parte que ver con la capacidad competitiva de las especies parentales y de los híbridos, y aunque se pueden hacer algunos ensayos en el laboratorio, ciertamente las condiciones naturales (es decir, "allá afuera") implican particularidades casi imposibles de imitar en el laboratorio, y por lo tanto es muy difícil hacer predicciones y extrapolaciones. Un caso de esto último es la interacción con depredadores, lo cual no podemos predecir en situaciones de cambio climático. Por ejemplo, aunque conocemos bien a algunos depredadores, estos no se pueden mantener en el laboratorio.

2) ¿Habrá una especie de desarreglo a nivel de ensamble de comunidades. Es decir, sabemos que las comunidades están más o menos establecidas con roles determinados (nichos) para cada especie, pero carecemos de información sobre la "desestabilización" en el sistema en el caso del cambio global, sobretodo en el caso de insectos. Por ejemplo, cuando uno se acerca a un río, y ve montones de libélulas diferentes, no sabemos si la llegada de una especie diferente afecta la presencia del resto. Un ejemplo importante es el de la libélula *Crocothemis erythraea* (Figura 5), una especie que ha incrementado su área de distribución de una manera alarmante. Por ejemplo, en tan sólo 23 años, de vivir solamente en el norte de África y el mediterráneo italiano, prácticamente invadió y se asentó en todos los cuerpos de agua no corriente (como lagos y lagunas) de Alemania, potencialmente desplazando a varias especies. Probablemente, en términos de biodiversidad, no nos preocupa mucho si las especies desplazadas llegan a otros sitios y subsisten sin problema. Sin embargo, existe un riesgo de extinción para las especies con áreas de distribución muy pequeñas, que no podrán extenderse a otras regiones. Algunos casos que hemos detectado son de especies tropicales con áreas de distribución muy restringida. Estas especies, por ejemplo, viven en zonas altas de bosque mesófilo, rodeadas de selvas en las zonas bajas.

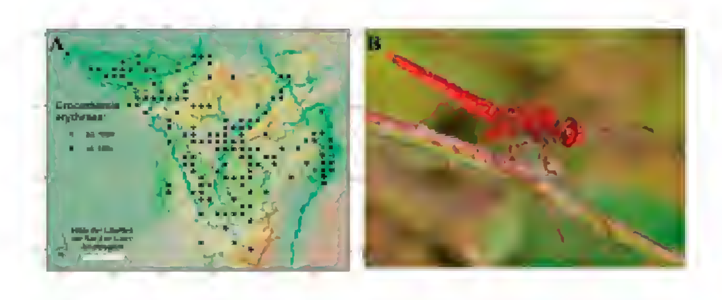


Figura 5. A. Mapa de la distribución de *Crocothemis erythraea* incluyendo regiones de Alemania, Francia y Luxemburgo. Las equis representan los puntos de presencia de *C. erythraea* antes de 1989, mientras que los puntos representan su presencia a partir de 1990. B. Fotografía de un macho adulto de *C. erythraea*. Fuente: Ott, 2007..

¿Es este patrón de hibridación algo que sólo les pasará a las libélulas o estamos hablando de un principio más general? Creemos que estos resultados son extrapolables a cualquier ectotermo, lo cual no tan sólo incluye insectos, sino grupos animales taxonómicos tan lejanos como los reptiles. La tasa de hibridación, no la conocemos y seguramente cambia entre grupos y entre especies. Una situación alarmante será el de especies plagas o vectores de enfermedades, ya que no sabemos qué tan terribles serán los híbridos en términos de su capacidad de transmisión de enfermedades. Un ejemplo es el de la chinche que transmite el protozoario responsable de la enfermedad de Chagas, un padecimiento típico de Latinoamérica. Hay más de cien especies de chinches que transmiten el protozoario al humano de las cuales algunas se sabe pueden híbridar. No es atrevido pensar que una vez que se modifiquen las áreas de distribución de todas estas especies, surjan más híbridos pero es una incógnita si esto tendrá como consecuencia una tasa mayor de trasmisión del protozoario.

Sin duda, habrá que pensar con cuidado qué haremos para cada consecuencia derivada de tener nuevas especies en una localidad, aunque estas sean por vía de híbridos. En fin, una razón más para poner nuestro grano de arena y tratar de aminorar el ritmo hacia un mundo más caliente.



Para saber más

- Garroway C., Bowman J., Cascadenz T., Holloways G., Mahan C., Malcolm J., Steele M., Turner G. and Wilson P. 2010. The genetic signature of rapid range expansion by flying squirrels in response to contemporary climate warming. *Global Change Biology*, 16: 113-121

- Ott, J. 2007. The expansion of Crocothemis erythraea (Brullé, 1832) in Germany, an indicator of climatic changes. Pp: 201-222, *in*: (Tyagi, B.K., ed.): *Biology of dragonflies - Odonata.*

- Ott J. 2010. The big trek northwards: recent changes in the European dragonfly fauna. *Atlas of Biodiversity Risk*, Pp 82-83, Pensoft, Publishers.

- Parmesan C.N. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. A*nnual Review of Ecology*, *Evolution and Systematics*, 37: 637-636.

- Sánchez-Guillén R.A., Wellenreuther M., Cordero-Rivera A. and Hansson B. 2011. Introgression and rapid species turnover in sympatric damselflies. *BMC Evolutionary Biology*, 11:210.

Dr. Alex Córdoba Aguilar. Es investigador del Instituto de Ecología con intereses en temas como selección sexual, inmunidad, control hormonal y biología de la conservación de insectos.

Rosa Ana Sánchez Guillén. Fue becaria postdoctoral con Alex Córdoba Aguilar. Sus intereses son las barreras de aislamiento y biología de la conservación de insectos.



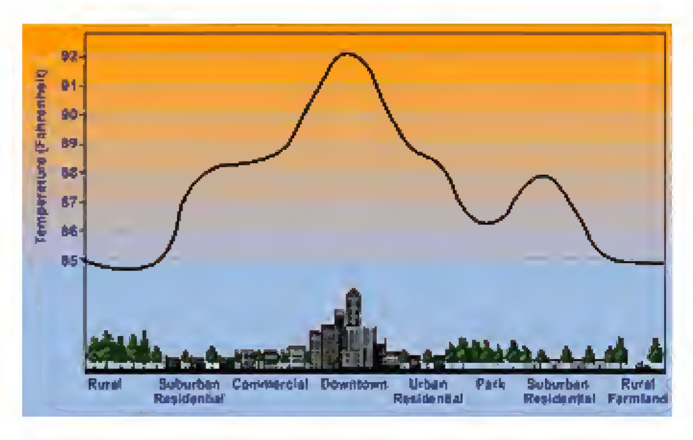
La isla de calor urbana y la vegetación arbórea

Víctor L. Barradas

La Isla de Calor Urbana

El ser humano por instinto tiene la necesidad de construir un lugar donde se sienta más que nada seguro y con la consiguiente comodidad, en un principio creó o construyó espacios para vivir y desarrollarse como las casas-habitación. Actualmente, al conjunto de estos asentamientos humanos se les llama ciudades, poblados, comunidades, etcétera, que modifican drásticamente las condiciones naturales del sitio donde se ubican; estas condiciones son más marcadas en una ciudad.

La sustitución drástica de los sistemas originales por elementos urbanos (como pavimento y edificaciones) altera el clima a escala local y regional, ya que el balance de energía se altera. En ausencia de ventilación, el clima urbano es el resultado del efecto de la radiación que reciben las superficies de la ciudad y que se disipa en la atmósfera. Esto último sucede a través de mecanismos de calentamiento del aire (por ejemplo, la superficie urbana calienta el aire vecino), de evapotranspiración de la vegetación y todo aquel calor almacenado en el tejido urbano. En las ciudades la evapotranspiración se reduce de manera abrupta, debido a que las áreas húmedas o las que producen humedad son muy reducidas además de que los materiales de construcción no cambian sus propiedades térmicas, esto es la cantidad de energía que almacenan es constante. En consecuencia, el caldeamiento del aire cercano a la superficie del suelo aumenta generando el fenómeno de la *isla de calor urbana* (ICU) que se caracteriza principalmente porque la temperatura del aire es más elevada en el área urbana que en los alrededores rurales, y que clásicamente se puede considerar como un cambio climático local o regional.



La temperatura en las urbes es mayor que en las zonas verdes que las rodean.

El comportamiento de la ICU depende de la carga de calor urbano debido al calor de combustión (por ejemplo de combustible para el transporte), la contaminación atmosférica, el intercambio de calor debido a la turbulencia incrementada por los edificios, la cantidad limitada de superficies húmedas, así como las estructuras y materiales urbanos. Así, la ICU puede estar presente a diferentes escalas, dependiendo de su localización geográfica, de las condiciones climáticas prevalentes y principalmente del uso de suelo.

Especialmente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, la desmedida urbanización y el aumento de la población humana, han llevado a generar un cambio climático en el que la diferencia máxima de temperatura entre el área urbana y rural puede ser normalmente de 3 a 5 °C. Sin embargo, en días especiales, dependiendo de las características meteorológicas, la diferencia de temperatura puede llegar a ser de hasta 10 °C entre por ejemplo la zona centro de la Ciudad de México y una rural, como Xochimilco.

Este aumento en la temperatura del área urbana involucra un efecto directo en el



índice de confort térmico humano, donde indudablemente la gente puede experimentar más estrés por calor, con lo que probablemente aumentará el consumo de energía para enfriar edificios y casas-habitación, además de afectar severamente la salud humana.
Adicionalmente, estas diferencias actuales de temperatura podrán hacerse más marcadas con el cambio climático global y los golpes u ondas de calor serán mayores o se incrementarán con el efecto de la ICU. Desde este punto de vista la ICU se puede considerar como una forma de polución térmica.

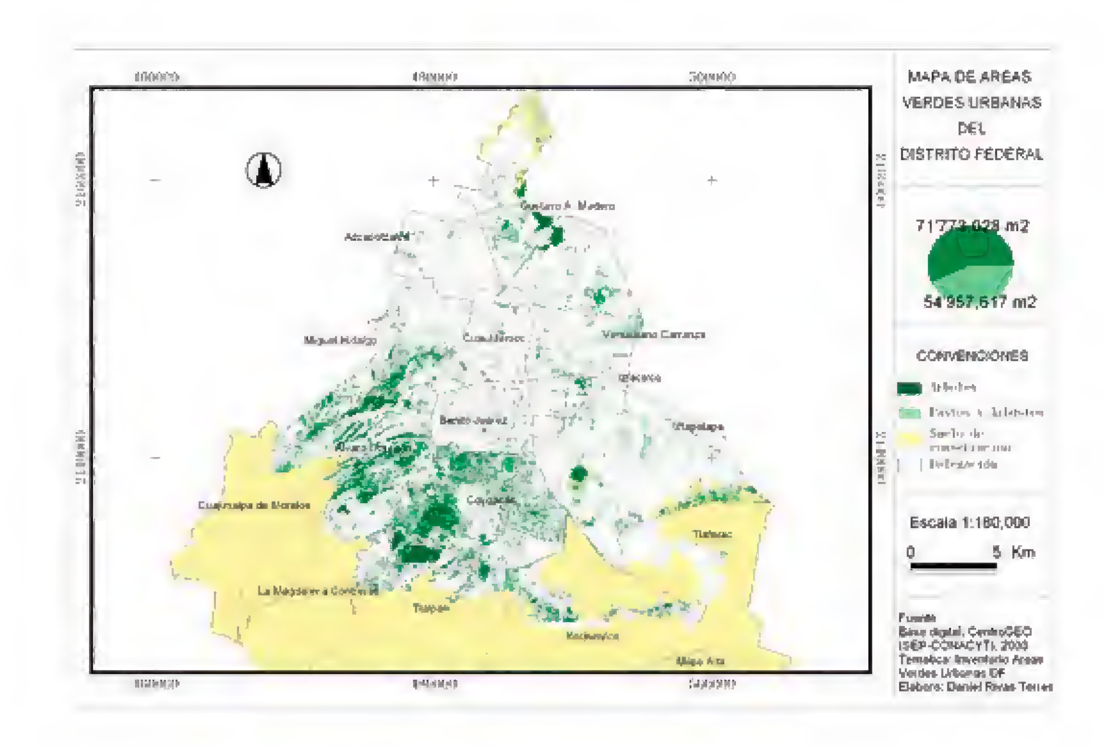
La Vegetación Urbana

La vegetación urbana desempeña un papel clave en el microclima de las ciudades y la biometeorología humana en ellas, como las plantas tienen la capacidad de absorber energía radiante a través de la transpiración, el área donde se encuentran es más fría y húmeda que sus alrededores. Nuestro equipo de trabajo ha observado que en algunos parques urbanos la estructura y la composición florística de la vegetación actual en la Ciudad de México producen diferencias en la temperatura del aire de hasta 5 °C. Esta diferencia aumenta rápidamente al incrementar la superficie del parque, pero llega a una extensión máxima donde el aumento es mínimo. Sin embargo, el diseño de áreas verdes en nuestra ciudad se ha llevado a cabo desde el punto de vista de la arquitectura del paisaje, sin tomar en cuenta que actualmente los parques urbanos en particular y la vegetación en general son elementos dinámicos, en el sentido de que interactúan con el medio atmosférico,y no solamente de estética urbana. Por otro lado, la vegetación también funciona como filtro de aire, adsorbiendo contaminantes de la atmósfera y del suelo.

Sin embargo, a pesar de la importancia actual de la vegetación urbana y de las recomendaciones de organismos internacionales para una vida sana, ésta es cada vez más una víctima del desarrollo urbano, siendo desplazada con nuevas edificaciones o desarrollos de vías de comunicación.

Propuestas para la Mitigación de la Isla de Calor Urbana

Ante esta problemática, hemos elaborado algunos estudios sobre lo que podría ser la mitigación de la ICU para la Ciudad de México. Algunos investigadores han sugerido que la más simple es la de pintar todas las superficies de blanco, con lo que se reflejaría una gran cantidad de radiación solar. Sin embargo, esta medida no varía con las estaciones, entonces no hay beneficio por el calentamiento del aire durante la temporada otoño-invierno. Desde



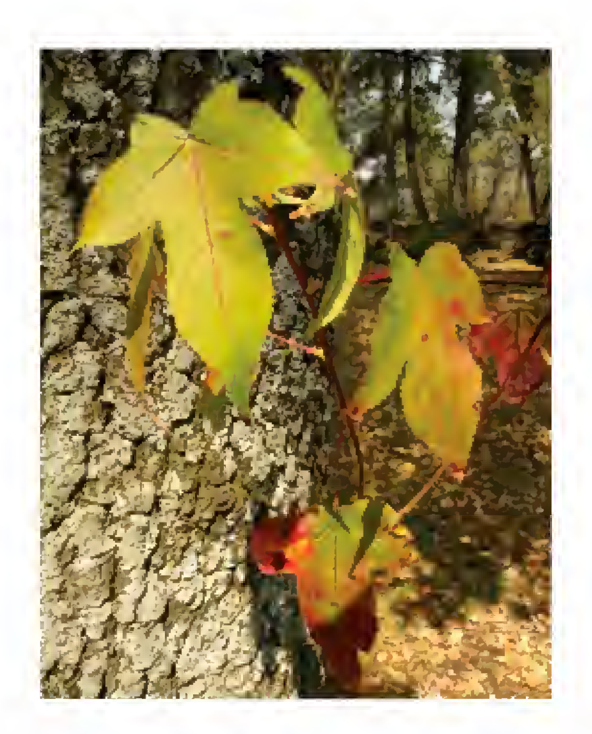
Las mayor parte de las áreas verdes de la zona metropolitana de la Ciudad de México se encuentran hacia el sur. Imagen: D. Rivas.



el punto de vista de consumo de energía esto podría implicar un mayor uso de calefacción artificial. La propuesta más apropiada que nosotros presumimos, es la de colocar en puntos estratégicos arreglos de vegetación urbana, que pueden ser simplemente comunidades vegetales de dos especies arbóreas que proliferan en el área urbana: el hule (*Ficus elastica*) y el trueno (*Ligustrum lucidum*). Estas especies tienen una capacidad transpiratoria de hasta 0.2 L/h y un índice de área foliar de 10. Esto quiere decir que, durante el día, las hojas transpiran una cantidad de agua suficiente como para mantener la temperatura cerca de 7 °C por debajo de la que alcance la zona con cemento. En este proceso de transpiración, la evaporación del agua requiere de 312 W/m^2 y si la radiación neta es de 450 W/m^2, la temperatura del aire sería de 19.2 °C, sin tomar en cuenta la ventilación por las ráfagas de viento que pueda haber. Sin este proceso de transpiración de las hojas de los árboles, la temperatura del aire se elevaría hasta 26.3 °C. No obstante, estas especies son introducidas, por lo que nosotros recomendamos realizar estos arreglos con especies nativas del Valle de México, como el fresno (*Fraxinus udhei*), el liquidambar (*Liquidambar styraciflua*) y el chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) entre otras, o una mezcla de estas especies. Además, debería hacerse también un uso estratégico de la misma, es decir, arreglos que incluyan vegetación con follaje perenne, o caducifolio, ya que estas plantas al perder las hojas en la temporada otoño-invierno no transpiran y así no enfrían el sistema urbano.



Ficus elastica. Imagen: www.es.wikipedia.org/wiki/Ficus_elastica .



Liquidambar styraciflua es una buena especie para aprovechar en la zona urbana del Valle de México por ser una especie nativa. Foto: C. Equihua Z.

Actualmente se han estado realizando diseños de módulos que pueden ser utilizados en la creación o el rediseño de parques urbanos o de bulevares. Sin embargo, como no es posible derribar edificios o reestructurar las calles y/o avenidas, una buena medida alternativa al cultivo de las especies arbóreas que propongo, es posible impulsando la implementación y construcción de muros verdes que realmente disminuyan la temperatura del aire y no solo la de las paredes de los edificios como ha venido ocurriendo en la Ciudad de México, sino a todo el sistema urbano, como casas, bardas, etcétera.

Para saber más

- Barradas, V.L. 1991. Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *Int. Journal of Biometeorology*, 35: 24-28.

• Cervantes-Pérez, J., Vargas-Sánchez, M.A. y Barradas, V.L. 2001. Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de México. *Ciudades*, 51: 19-24.

• Ballinas Oseguera, M. 2011. *Mitigación de la isla de calor urbana : estudio de caso de la zona metropolitana de la Ciudad de México*. Maestría en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias de la Atmósfera-Instituto de Ecología, UNAM.

Dr. Víctor L. Barradas. Es investigador del Laboratorio de Ecofisiología Tropical del Instituto de Ecología, UNAM. Estudia la interrelación planta-atmósfera con énfasis en el uso del agua por la vegetación y el cambio climático.



El Cambio Climático, un gran reto de sostenibilidad

Ana E. Escalante, Lakshmi Charlí-J.
y María José Solares

Vivimos tiempos esquizofrénicos: mientras los avances de la tecnología moderna nos ponen en situaciones de confort antes sólo imaginables en historias de ficción, también somos testigos del deterioro acelerado del planeta que parecería llevarnos a escenarios apocalípticos ante la sobreexplotación de los recursos naturales, el crecimiento poblacional desmedido y la enorme desigualdad social. Esta es nuestra realidad y para tener un futuro más promisorio no queda más que replantear nuestra relación con el planeta desde diferentes enfoques (económicos, políticos y sociales). En los foros académicos, muchos de ellos multidisciplinarios, se ha llegado a la conclusión de que el mejor camino para lograrlo es a través de un *desarrollo sostenible*.

¿Qué es la sostenibilidad?

La idea de la *sostenibilidad*, también denominada sustentabilidad, surge a finales de los años 80 y se consolida a lo largo de los 90 del siglo XX. Según la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo la sostenibilidad busca la forma de satisfacer las necesidades humanas fundamentales al mismo tiempo que intenta conservar los sistemas que soportan la vida en nuestro planeta. Como describió R. Kates en el 2011, las ciencias de la sostenibilidad son "un campo emergente de investigación relacionado con las interacciones entre los sistemas naturales y sociales, y de cómo esas interacciones afectan el reto de la sostenibilidad: satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las de las generaciones futuras". De esta manera, la sostenibilidad busca integrar tres dimensiones: la ambiental, la económica y la social (incluida la socio-política). La primera contempla la diversidad y la interdependencia dentro de los sistemas vivos, los bienes y servicios producidos por los ecosistemas y los impactos de las actividades humanas. La segunda considera la toma de decisiones para la producción y el consumo, el uso de recursos para satisfacerlos, así como su valoración monetaria. Finalmente, la dimensión socio-política se refiere a las interacciones entre las instituciones o empresas y las personas, los valores humanos, las aspiraciones y el bienestar.

Cambio climático: uno de los retos para la sostenibilidad

En la actualidad, la humanidad se enfrenta a diversos retos de naturaleza urgente y compleja. Estos incluyen el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la pobreza, las epidemias y los conflictos sociales, entre otros que, por estar interrelacionados podemos denominar sistemas socio-ambientales. A estos y otros desafíos similares se les denomina *problemas de sostenibilidad*; que tienen su origen en el comportamiento humano y en las estructuras institucionales y son impulsados por dinámicas sistémicas e impredecibles.

Los problemas globales más urgentes del planeta los definió Lüdeke en 2004 y se manifiestan como *síndromes de sostenibilidad* (ver Cuadro 1). Estos síndromes son una manifestación concreta, o una serie de síntomas, de una condición negativa de los sistemas socio-ambientales. La disminución acelerada de glaciares, los ecosistemas alterados y los nuevos patrones de eventos climáticos extremos son indicios de que estamos ya experimentando un cambio climático global, que representa uno de los retos más serios del siglo XXI.

El clima en la Tierra es una parte fundamental del sistema de soporte de la vida y en sus orígenes, modelaba la manera en la que

Cuadro 1. Los "síndromes" del cambio global según Lüdeke y colaboradores.

Hoy es evidente que vivimos en un planeta dominado por humanos lo que hace necesario el surgimiento de nuevas maneras de pensar sobre asuntos ecológicos y ambientales. Ante la complejidad de los grandes problemas socio-ambientales la comunidad científica enfrenta nuevos retos. Con el fin de contribuir a entender los problemas socio-ambientales se hace uso de la caracterización por síndromes, cuya meta es una visión más amplia de los procesos más relevantes del cambio global y que busca preservar el contexto local al integrar casos de estudios locales y regionales. Esta aproximación busca identificar patrones funcionales de la interacción humano-naturaleza, y patrones o procesos que relacionen las actividades humanas con los cambios ambientales; al mismo tiempo, contribuye con una visión global de la dinámica local y regional de la degradación ambiental.

Dentro de una metáfora médica, esta aproximación se enfoca en "imágenes clínicas" del "Sistema Tierra". En una publicación de 2004, Lüdeke y colaboradores, describen siete síndromes relacionados con el "Cambio Global", los cuales incluyen las principales actividades de extracción y desarrollo que, con base en experiencias amplias, pueden ser considerados como problemáticas para el bienestar humano en el planeta. Estos síndromes, describen problemas complejos asociados al deterioro socio-ambiental que vivimos actualmente.

Nombre	Características originales	Descripción del problema	Detonadores del síndrome
Sahel	Reducción del área agrícola de tierras transmitidas por herencia.	Cambio de uso del suelo: de agrícola a no agrícola. Espiral hacia abajo por degradación de los recursos y empobrecimiento.	Tierras marginales y sin alternativas de ingresos.
Tazón de Polvo	Agricultura intensiva dirigida a maximizar las ganancias.	Degradación del suelo y ambiente por sobre-explotación financiada por grandes capitales. Buscan maximizar las ganancias usando muchos agroquímicos, poca mano de obra y/o presión sobre pequeños propietarios.	Condiciones redituables de suelo e infraestructura (caminos y otros servicios).
Revolución Verde	Búsqueda de la autosuficiencia alimentaria en países en desarrollo.	Degradación ambiental y desigualdades socio-económicas crecientes debido a técnicas agrícolas introducidas sin considerar las condiciones locales.	Desnutrición, los cereales como principal componente de la dieta nacional.
Sobre-explotación	Extracción de recursos renovables.	Degradación de la vegetación y suelo debida a la obtención de ganancias únicamente por la sobre-explotación de recursos forestales, fallas en política ambiental en relación a la regulación del uso de recursos naturales.	Accesibilidad y utilidad de bosques, en algunos casos, dependencia nacional de la exportación de madera.
Mar Aral	Esquemas de uso de agua con planeación centralizada.	Degradación ambiental, problemas socio-económicos, y conflictos (internacionales) causados por esquemas de irrigación.	Tendencias hacia proyectos de planeación desde dependencias de gobierno y soluciones puramente tecnológicas.
Tigre Asiático	Crecimiento económico acelerado en países en desarrollo y recientemente industrializados.	Contaminación severa y problemas de salud debidos a rápida industrialización sin estándares ambientales.	Acceso a los mercados globales, ética de trabajo pronunciada.
Favela	En países en desarrollo urbanización sin planeación.	Contaminación y problemas de salud en áreas urbanas de rápido crecimiento debidos a falta de desarrollo de infraestructura.	Ausencia de desarrollo rural.

vivíamos en el planeta. Sin embargo, los modos de vida de la humanidad están modificando el clima de manera cada vez más notoria. En particular, las actividades humanas asociadas en su mayoría al uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), liberan gases de efecto invernadero y contaminantes al aire, incrementado su concentración en la atmósfera y generando lo que se conoce como *efecto invernadero*. Esto ha provocado el aumentado



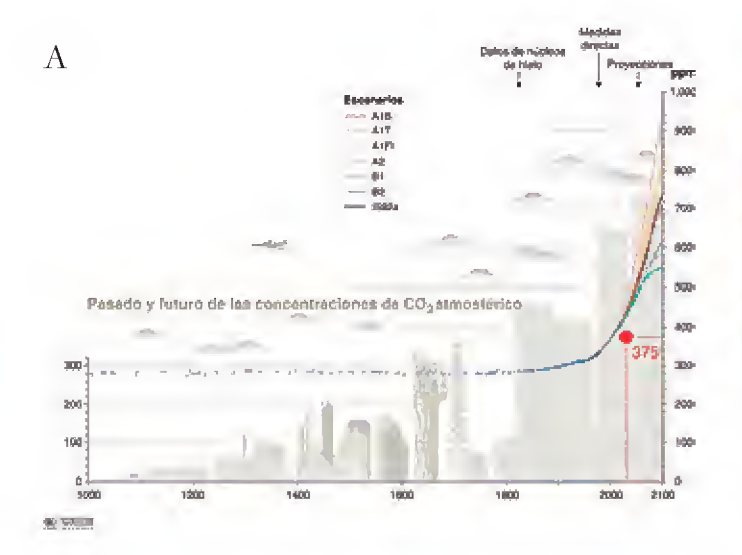
de las temperaturas globales promedio en varios grados centígrados al año (ver Figura 1). Una atmósfera caliente es más activa y por lo tanto, más propensa a climas extremos como inundaciones, sequías, tornados y huracanes. Asimismo, un clima más cálido genera cambios ecológicos (por ejemplo ver artículo de A. Córdoba y R. A. Sánchez Guillén), movimiento de especies (incluyendo plagas de insectos y transferencia de organismos vectores o portadores de enfermedades hacia nuevas latitudes (ver artículo de J. P. Jaramillo e I. Gamache), una variedad de cambios en el ciclo del agua que pueden afectar la producción de alimentos, de energía hidroeléctrica, turismo y otras actividades humanas indispensables (Figura 2).

Dada la breve y superficial lista de consecuencias asociadas al aumento de la temperatura en la atmósfera, apenas nos pareciera obvio que todos los países las experimentarán. Sin embargo, las naciones en vías de desarrollo son más vulnerables porque dependen de modos de vida más directamente sensibles al clima (por ejemplo, porque amplios sectores de su población dependen de la agricultura de temporal, la pesca o de diversos productos que obtienen de la naturaleza). Pese a esto, en muchos de los foros internacionales relacionados con el bienestar humano, las decisiones políticas con relación al clima, aunque mencionadas, muchas veces quedan al margen de las discusiones generales. La equidad es uno de los principios fundamentales de convenios internacionales respaldados por la ONU (por ejemplo véanse los Objetivos de Desarrollo del Milenio), sin embargo, en foros como la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC por sus siglas en inglés) el debate se ha centrado principalmente en el tema de la justicia en la *mitigación* (esto es, administrando el derecho de emitir gases de efecto invernadero), y no en la *adaptación* (es decir, que la población cuente con alternativas para su sobrevivencia). Por lo que, dentro del marco de la sostenibilidad, considerar la justicia de las estrategias de adaptación es central para legitimar y medir las próximas acciones a seguir.

Las consecuencias del cambio climático abarcan una gran variedad de componentes ecológicos, económicos y sociales contenidos en un sistema complejo. Identificar con precisión los componentes y presentar las mejores soluciones al problema se presta a ambigüedades y posiciones contrapuestas ya que no existen soluciones únicas que satisfagan a todos. De manera independiente, cada una de las áreas de la ciencia aporta una visión parcial para resolverlos por lo que, en el marco filosófico de la sostenibilidad, es necesario aplicar un *nuevo paradigma científico*.

Como R. Kates indica, éste nuevo paradigma se centra en la tesis de que la investigación debe proporcionar no solamente el conocimiento

A



B

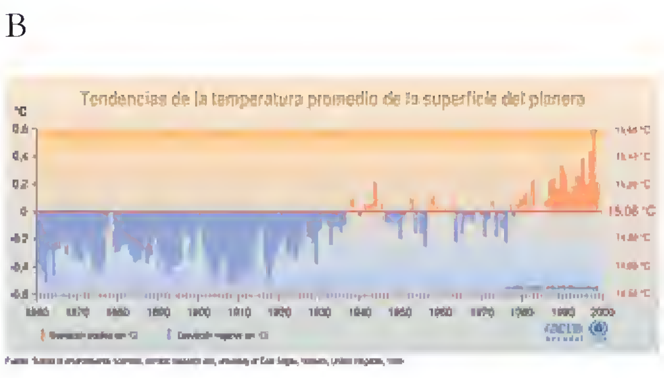


Figura 1. El uso de combustibles fósiles y su impacto en el clima global. A) Concentraciones pasadas y futuras de CO_2. Desde antes de la industrialización, la concentración de gases de efecto invernadero se ha incrementado considerablemente. Los niveles actuales de CO_2 (375ppm aprox) son las más altas en los últimos 42,000 años, y problablemente de los últimos 20 millones de años. B) Tendencias en temperatura global. Se muestra la temperatura combinada de superficie terrestre y oceánica (grados Centígrados) de 1861 a 1998, relativca a la temperatura entre 1961 y 1990. La temperatura media global ha aumentado entre 0.3 y 0.6ºC desde finales del siglo XIX y entre 0.2 y 0.3ºC en los últimos 40 años. Imagenes: UNEP/GRID-Arendal), A) Philippe Rekacewicz y B) Philippe Rekacewicz y Emmanuelle Bournay.



Impactos provocados por el cambio climático que podrían afectar el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio

Posibles consecuencias del cambio climático

Objetivos de Desarrollo del Milenio

Erradicar la pobreza extrema y el hambre

Lograr la enseñanza primaria universal

Promover la igualdad entre sexos y empoderar a la mujer

Reducir la mortalidad de los niños

Mejorar la salud materna

Combatir HIV/SIDA, paludismo y otras enfermedades

Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente

Fomentar una alianza mundial para el desarrollo

Disminución de la accesibilidad al agua, casa e infraestructura

Desastres naturales y sequías

Descenso en la producción agrícola

Estrés por agua

Migraciones

Alteraciones en el estilo y ritmo del crecimiento económico

Reducción de la diversidad biológica

Tensiones sociales

Nota: Se basa en comunicados nacionales de los países que no pertenecen al Anexo I y a la Sexta recopilación y síntesis de las comunicaciones iniciales de las Partes no incluidas en el Anexo 1 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas

Fuente: CEPAL, Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. Perspectiva 2009

Figura 2. Los impactos del cambio climático sobre las metas del Desarrollo del Milenio acordadas por las Naciones Unidas en el año 2000. Imagen: Nieves López Izquierdo, UNEP/GRID-Arenda.

exacto del mundo que nos rodea, sino también el conocimiento útil para lograr el tránsito hacia el desarrollo sostenible. Esto presupone la capacidad del trabajo conjunto entre las ciencias y las humanidades para la solución de los problemas. En el contexto de la sostenibilidad, la investigación y la enseñanza deben dirigirse a generar esquemas que faciliten la traducción, comunicación y mediación de intereses, así como las metas de los diferentes agentes sociales (ver Recuadro 1). El resultado de la investigación y la enseñanza debe reflejarse en el tránsito de la sociedad hacia mejores condiciones de bienestar y a la preservación del entorno natural.

La sostenibilidad en México y en el contexto mundial

Actualmente, los países trabajan en pro de la sostenibilidad de manera independiente, sin

Recuadro 1. Las preguntas y principios de sostenibilidad.

Considerando que los problemas de sostenibilidad son complejos, Kates ha planteado en trabajos independientes de 2001 y 2011, que las preguntas de investigación en sostenibilidad más importantes son:

• ¿Cómo pueden incorporarse las interacciones dinámicas entre la naturaleza y la sociedad a los modelos emergentes que integran el sistema planetario, el desarrollo humano y la sosteniblidad?
• ¿Qué es lo que determina la adaptabilidad, vulnerabilidad y resiliencia para algunos tipos de sistemas socio-ambientales?
• ¿Cómo se pueden mejorar de manera más eficiente, las capacidades sociales para que las interacciones entre la sociedad y la naturaleza transiten hacia trayectorias más sostenibles?
• ¿Cómo pueden incorporarse de manera operativa, sistemas para el monitoreo de las condiciones sociales y ambientales, con el fin de guiar de manera coherente y útil los esfuerzos de transición hacia la sosteniblidad?
• ¿Cómo pueden integrarse mejor las actividades independientes de investigación, planeación, monitoreo, evaluación y toma de decisiones a sistemas de manejo adaptativo y de aprendizaje social?

Y estas preguntas deben abordarse siguiendo los siguientes principios fundamentales:

(1) Pluralismo epistemológico. Reconoce que el conocimiento surge de las diferentes maneras de entender un problema, así como de diversos niveles de análisis.
(2) Integración de valores y hechos. Sintetiza los aspectos morales y normativos de la sostenibilidad con los valores humanos incluyendo pensamientos, actitudes y decisiones sobre los atributos sociales, naturales y económicos del ambiente.
(3) Pragmatismo. Propone que las soluciones se deben basar en el mejor conocimiento disponible.
(4) Conocimiento dinámico y evolutivo. Propone encontrar esquemas adaptativos para el manejo y toma de decisiones que propicien el bienestar humano a lo largo del tiempo.

embargo es urgente emprender acciones de mayor alcance ya que, en el caso del problema del cambio climático, se habla de uno de efecto mundial. Cabe resaltar que el desarrollo sostenible no es un destino, sino un proceso dinámico de adaptación, aprendizaje y acción, el cual supone reconocer y comprender las interrelaciones que existen entre la economía, la sociedad y el medio ambiente.

En México, el principal reflejo de estos esfuerzos puede verse en los instrumentos de política ambiental que han diseñado los gobiernos tanto a nivel federal, como estatal (Recuadro 2). Sin embargo, su efectividad , así como de las acciones dirigidas a cumplir con los compromisos internacionales en materia de sostenibilidad, dependen en gran medida de formar profesionales capaces de plantear nuevos esquemas para abordar los grandes retos de la sostenibilidad. En consecuencia y de manera muy reciente, la Universidad Nacional Autónoma de México impulsa el desarrollo de un enfoque de investigación y de enseñanza-aprendizaje innovador que integre diferentes campos del conocimiento y una visión global de los problemas dentro del proyecto del Laboratorio Nacional de las Ciencias de la sostenibilidad (LNCS, en Recuadro 2).

Así, en este contexto de globalización y creciente complejidad, donde los modos de vida y trabajo dependen cada vez más de la colaboración, la creatividad, la definición y formulación de problemas y donde se requiere tratar con la incertidumbre y el cambio (distribuidos en todas las culturas, disciplinas y herramientas), se debe fomentar la formación y el trabajo en sostenibilidad. Esto se logrará a través de un enfoque trans-disciplinario, en el que sin importar la profesión, se fomente la adquisición y fortalecimiento de conocimientos, valores y actitudes que preparen a los ciudadanos a tener una vida que al mismo tiempo que sea significativa, sea responsable, productiva y consciente de las consecuencias de sus acciones sobre el medio ambiente en el futuro. Y así, convertirse en agentes de cambio: aquellos que tengan la capacidad de modificar y dar forma a otro tipo de futuro donde el tránsito a un mundo más equitativo y justo pueda ser posible…

Recuadro 2. La sostenibilidad en México.

La institucionalización de políticas sostenibles en México se manifiesta como leyes en materia ambiental (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (LGEEPA) y Ley del Cambio Climático***).

Desde su inserción en la legislación ambiental hace más de dos décadas, la noción del desarrollo sostenible en México ha ido apareciendo en muchos ámbitos de la sociedad y gobierno. En particular, existen varios instrumentos de política pública para la gestión sostenible como son: los programas de manejo de Áreas Naturales Protegidas, los Ordenamientos Ecológicos del Territorio, las Manifestaciones de

Recuadro 2. Continuación...

Impacto Ambiental, y los Planes de Desarrollo Urbano. Sin embargo, se ha reconocido que a pesar de los esfuerzos aún existen notorias debilidades conceptuales y metodológicas en los procedimientos de evaluación, análisis e implementación de tales instrumentos hacia un verdadero desarrollo sostenible. Tales vacíos han limitado la efectividad de las leyes y políticas públicas del país para responder a los problemas prioritarios.

También son de notar enormes vacíos en las capacidades de las instituciones académicas, el gobierno y la sociedad organizada sobre cómo abordar los retos que implica el tránsito hacia la sostenibilidad. Ello ha limitado enormemente la efectividad de los instrumentos de la política de desarrollo sostenible.

Ante la necesidad de aportar conocimiento y apoyo en los procesos de planeación y toma de decisiones del país, la UNAM contribuyó con la creación del Laboratorio Nacional de las Ciencias de la sostenibilidad (LNCS), en donde también participaron el Instituto de Ingeniería y el Programa Universitario de Medio Ambiente de la UNAM; el Instituto Nacional de Ecología y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de la SEMARNAT. De esta manera se espera fortalecer y contribuir a generar políticas públicas relacionadas a los grandes y urgentes problemas del país fomentando la interacción entre grupos académicos, servidores públicos y la sociedad civil.

*** La Ley General de Cambio Climático (DOF 06-06-2012) establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. En relación con la sostenibilidad, tiene como objetivos:
I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;
III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;
IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;
V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;
VI. Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y
VII. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

Para saber más

- Kates R, Clark W, Corell R, Hall J. 2001. Sustainability science, *Science*, 292: 641-642.
- Kates R. 2011. What kind of a science is sustainability science? *PNAS*, 108 (49): 19449-19450.
- Lüdeke M, Petschel-Held G, Schellnhuber HJ. 2004. Syndromes of global change: the first panoramic view. *GAIA,* 13 (1): 42-49.

Ana E. Escalante. Bióloga y Doctora en Ciencias por la UNAM. Actualmente es investigadora en el Instituto de Ecología (UNAM) en donde estudia la relación entre la biodiversidad y sus consecuencias en la función ecosistémica con énfasis en microorganismos.

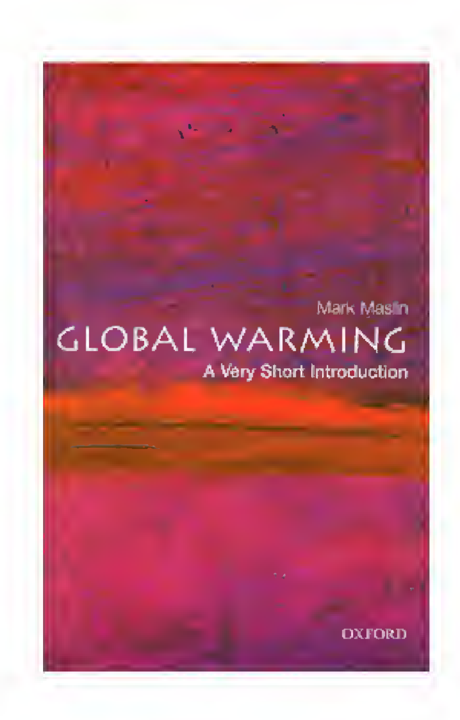


Lakshmi Charlí-J. Bióloga de la UNAM, tiene una Maestría en Derecho, Gestión y Política Ambientales (UAX) y otra sobre Planeación y Gestión Ambiental en el Instituto de la UNESCO para la Educación del Agua (UNESCO-IHE, Holanda); sus trabajos de tesis fueron enfocados en política y gestión de cuencas mexicanas. Labora desde hace más de año y medio en el Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, co-coordinando el área de educación y creación de capacidades.

María José Solares. Bióloga de la UAM Xochimilco, tiene una Maestría en Ciencias Biológicas (UNAM). Ha trabajado en diversos proyectos ambientales, principalmente de ordenamiento ecológico. Actualmente, labora en el Laboratorio Nacional de las Ciencias de la Sostenibilidad, co-coordinando el área de educación y creación de capacidades.

RESEÑA DE LIBRO

Maslin, M. 2009. *Global Warming. A very short introduction.* **Oxford University Press. Oxford, U.K., 192 páginas. ISBN: 978-0-19-954824-8.**



¿Cómo tener una opinión realmente informada y realista frente al cambio global? Por un lado tenemos las visiones apocalípticas con las que algunos investigadores nos bombardean periódicamente, por ejemplo Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich (aquí en mi escritorio tengo su *The Population Explotion*, de 1990). Por otra lado, tenemos las versiones excesivamente optimistas, como el libro de Bjorn Lomborg (*The Skeptical Environmentalist*), de 1998, donde en 514 páginas y la asombrosa cantidad de 2930 notas de pie de página y 173 figuras, el autor trata de convencernos que el ambiente no está tan mal, y más que correr como pollos sin cabeza, debemos buscar soluciones prácticas a cada problema, como las que se lograron con la Revolución Verde para mantener alimentado al mundo (contra las visión del Paul Ehrlich en su libro de 1966, donde predecía a corto plazo, contra lo que ha sucedido, la mortandad masiva de la mayor parte de la población en la India por falta de alimento).

Creo que la verdad está en un punto intermedio. Aunque simpatizo con la idea de los Ehrlich que el ambiente está mal y hay que hace algo urgentemente, considero que uno nunca debe de exagerar, y que aunque el problema ambiental sea gravísimo, uno debe de dar siempre una opinión realista y justificada, pero pienso que Lomborg cojea del otro pie, e imaginarse que todo puede resolverse con buena fe y entusiasmo, sin enfrentar claramente los problemas, puede ser un error infinitamente costoso. La visión que Maslin presenta en el libro que aquí reseñamos me parece una opinión bien razonada y justificada.

La idea básica de Maslin es que el ambiente si está muy mal y el calentamiento global es muy grave y puede ser mucho más grave de lo que se han sugerido la mayor parte de los documentos internacionales y las simulaciones usadas para elaborarlos, y que podrían esperarnos muchas sorpresas difíciles de predecir, de consecuencias fatales para la vida en la Tierra, aunque puede tomar un rato en volverse evidente para todos. Su otra idea es que el calentamiento global es solo una cara de la moneda, donde el otro lado es la pobreza global. Como dice la final del prefacio (mi traducción): "En el siglo 21 debemos de encarar y solucionar tanto la pobreza global como el calentamiento global", y hay que enfrentar los dos problemas de forma simultánea. La otra virtud del libro de Masling es que muy compacto: en sólo 192 páginas en un formato de libro de bolsillo, revisa de manera clara, con figuras y tablas sencillas, las causas atmosféricas, químicas y físicas del calentamiento global, revisa a los diferentes organismos internacionales y acuerdos para enfrentar al cambio climático, la historia de cómo se descubrió el cambio global y las principales pruebas científicas del mismo. También trata brevemente de cómo se ha modelado las simulaciones de escenarios de cambio global.

La Tabla 2 del Capítulo 5 es especialmente impactante, ya que en ella se detallan los efectos de diferentes niveles en el incremento en la temperatura global, que se van a alcanzar según cómo y cuantos gases con efecto inver-

nadero se sigan acumulando en la atmósfera: 3 a 4 grados adicionales implican la extinción masiva de especies de plantas y animales, y de 4 a 5 grados mortandad masiva en la población humana. Pero no sigo, para que ustedes mismos "disfruten" los horrores de la lectura de esta sección. Tal vez la sección más impactante es el Capítulo 6, que sólo se llama "Sorpresas", y son los cambios drásticos e inesperados que pueden suceder una vez que se superan cierto umbrales de temperatura. Las partes finales tratan sobre las políticas internacionales y posibles soluciones y remedios a diferentes escalas, para terminar con unas "visiones de un futuro de cero carbono". Y eso nos hace pensar ¿y en nuestro Instituto, hasta cuándo? Efectivamente, hemos intentado varias veces separar la basura, pero eso es sólo un muy pequeño componente de nuestra huella de carbono y contribución a la destrucción ambiental. Creo que deberíamos de hacer un esfuerzo por estimar todas nuestras actividades, y como reducir nuestra huella minimizando las actividades más frívolas e innecesarias de nuestro trabajo diario. Por ejemplo, la excesiva asistencia a congresos internacionales de algunos investigadores y estudiantes ¿no sería mejor que lo hicieran por videconferencias y comunicaciones electrónicas?, para así estar más tiempo en las instalaciones del Instituto, mejorar sus interacciones con investigadores y alumnos, incrementar la calidad de sus clases y de su investigación, al mismo tiempo que reducimos nuestra huella de carbono y somos ejemplo para los estudiantes?

Para saber más

- Ehrlich, P. R. 1968. *The Population Bombe*. Ballantine Books, New York, New York, EUA.
- Ehrlich, P. R. y A. H. Ehrlich. 1990. *The Population Explotion*. Touchstone. New York, New York, EUA.
- Lomborg, B. 1998. *The Skeptical Environmentalist: Measuring the real state of the world.* Cambridge University Press, Cambridge U.K.

Dr. Luis E. Eguiarte Fruns. Es investigador del Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Departamento de Ecología Evolutiva. Estudia la ecología y evolución de las plantas, bacterias y animales de México, usando marcadores genéticos.





Enero 2013 No. 7

Contenido